

KUANTIFIKASI EMISI GAS CO₂ EKVIVALEN PADA KONSTRUKSI JALAN PERKERASAN KAKU

Apsari Setiawati, Stefanus Catur Adi Prasetyo, Jati Utomo Dwi Hatmoko^{*)}, Arif Hidayat^{*)}

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

Sektor konstruksi adalah salah satu kontributor utama pembangunan ekonomi nasional, namun berpotensi besar dalam penurunan kualitas lingkungan. Secara internasional yang dijadikan ukuran besar kecilnya pengaruh kegiatan manusia terhadap lingkungan adalah emisi gas CO₂e. Salah satu proses konstruksi yang diduga menghasilkan emisi CO₂e relatif besar adalah pekerjaan infrastruktur jalan. Pada penelitian ini dikaji jejak karbon yang dihasilkan oleh proses produksi material, transportasi material, dan pelaksanaan konstruksi jalan raya perkerasan kaku. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung pada Proyek Flyover Palur dan wawancara dengan tim proyek, dan data proyek yang diperoleh dari perusahaan dan instansi pemerintah. Obyek yang ditinjau adalah STA. 0+350 s/d STA. 0+450 dengan lebar 2 jalur kali 3 m. Perhitungan emisi CO₂e menggunakan faktor konversi dari berbagai literatur. Total emisi CO₂e yang dihasilkan selama proses konstruksi perkerasan kaku yaitu sebesar 92.9 ton CO₂e, dengan jumlah emisi yang dihasilkan oleh produksi material di luar lokasi proyek 88.166 ton CO₂e (94.9%), transportasi material 3.168 ton CO₂e (3.4%), produksi dan penghamparan beton 1.567 ton CO₂e (1.7%). Produksi material semen menyumbang emisi CO₂e terbesar (86,2%) sehingga diperlukan material alternatif pengganti semen.

kata kunci : *emisi CO₂, perkerasan kaku*

ABSTRACT

The construction sector is one of the major contributors to national economic development, but has great potential in environmental degradation. CO₂ emissions have been used as a measure of the effect of human activities on the environment. One of the construction process that allegedly resulted in relatively large CO₂e emissions is road projects. This study assessed the carbon footprint generated by the process of material production, material transport, and implementation of highway construction rigid pavement. Data is collected through direct observation of Palur Flyover Project and interviews with the project team, and project data obtained from the companies and government agencies. Road project reviewed start from STA. 0 + 350 to STA. 0 + 450 2 line of a 3 m width CO₂e emissions calculations using the conversion factor from the literature. The total CO₂e emissions produced during the process of rigid pavement is 92.9

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

tonnes of CO_{2e}. The amount of emissions generated by the off site material production, material transport, concrete production and concrete pouring are 88 166 tonnes of CO_{2e} (94.9%), 3,168 tonnes of CO_{2e} (3.4%), 1,567 tons of CO_{2e} (1.7%) respectively. Material production, cement production accounted for the largest CO_{2e} emission (86,2%). Therefore alternative materials to cement are needed.

keywords: *CO_{2e} emissions, rigid pavement*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Proses konstruksi berpotensi besar dalam penurunan kualitas lingkungan. Salah satu proses konstruksi yang menghasilkan emisi gas CO_{2e} relatif besar adalah pekerjaan konstruksi infrastruktur jalan. Dalam setiap proses konstruksi jalan pasti menimbulkan dampak yaitu mengubah kondisi dan fungsi alam, konsumsi sumber daya alam tak terbarukan. Oleh karena itu diperlukan penerapan prinsip pembangunan berkelanjutan dengan berwawasan lingkungan atau konstruksi hijau.

Konstruksi hijau didefinisikan sebagai suatu perencanaan dan pengelolaan proyek konstruksi (sesuai dengan dokumen kontrak) untuk meminimalkan pengaruh proses konstruksi terhadap lingkungan agar terjadi keseimbangan antara kemampuan lingkungan dan kebutuhan hidup manusia untuk generasi sekarang dan mendatang. Pengertian “meminimalkan pengaruh proses konstruksi terhadap lingkungan” adalah usaha atau cara yang digunakan dalam proses konstruksi untuk menggunakan sumber daya alam secara efisien dan meminimalkan limbah yang dihasilkan akibat proses konstruksi untuk menghindari terjadinya pencemaran lingkungan (Ervianto, 2012).

Secara internasional telah disepakati bahwa yang dijadikan ukuran besar kecilnya pengaruh dari suatu proses terhadap lingkungan adalah emisi gas yang disetarakan dengan CO_{2e}. Oleh karena itu nilai yang ingin dicapai dalam konstruksi hijau adalah meminimalkan emisi gas CO_{2e} yang ditimbulkan selama proses konstruksi. Di dalam penelitian ini kami mengkaji jejak karbon yang dihasilkan oleh proses produksi material dan proses pelaksanaan konstruksi jalan raya perkerasan kaku.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Proses konstruksi berpotensi besar dalam penurunan kualitas lingkungan apabila tidak ada perubahan dalam pola pembangunan. Pola pembangunan berwawasan lingkungan yang dapat meminimalisir penurunan kualitas lingkungan belum banyak diaplikasikan di lapangan. Salah satu proses konstruksi yang diduga menghasilkan emisi gas CO_{2e} relatif besar adalah pekerjaan infrastruktur jalan.
2. Setiap proses konstruksi jalan menimbulkan beberapa dampak yaitu mengubah kondisi dan fungsi alam, konsumsi sumber daya alam tak terbarukan dalam jumlah besar, dan menghasilkan polusi dan limbah.

Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah memberikan hasil kuantifikasi emisi gas CO₂e yang dihasilkan pada pembangunan suatu konstruksi jalan raya perkerasan kaku.

Tujuan dari penelitian ini adalah memetakan proses konstruksi perkerasan kaku yang menghasilkan emisi gas CO₂e dan menganalisis sumber daya proyek (material, peralatan, metode pelaksanaan) yang menghasilkan emisi gas yang ditakar dalam CO₂e pada konstruksi jalan perkerasan kaku.

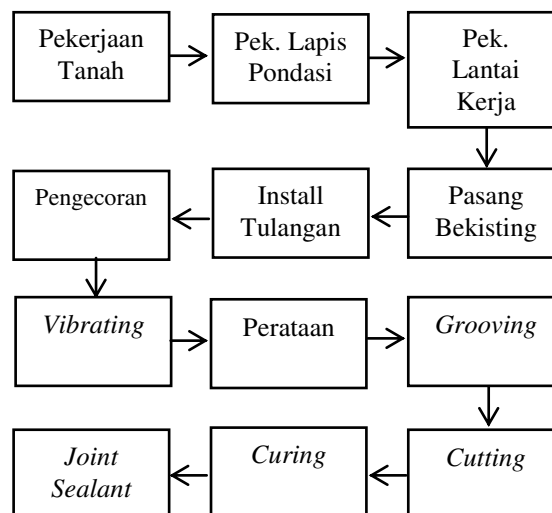
Batasan Masalah

1. Penelitian dilakukan pada proyek konstruksi jalan raya dengan perkerasan kaku.
2. Pengevaluasian jejak karbon selama proses konstruksi berdasarkan proses produksi material, transportasi material, dan pelaksanaan konstruksi di lokasi proyek.
3. Evaluasi CO₂e terhadap sumber daya proyek (material, peralatan, metode pelaksanaan) hanya pada pekerjaan pondasi, dan pekerjaan perkerasan.

TINJAUAN PUSTAKA

Metode Pelaksanaan Perkerasan Kaku

Pelaksanaan konstruksi jalan memiliki beberapa tahapan. Dalam tahapan pelaksanaan perkerasan kaku urutan pekerjaan dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Metode Pelaksanaan Perkerasan kaku

Pada proses pelaksanaan konstruksi perkerasan kaku diperlukan penggunaan beberapa alat berat. Alat berat yang digunakan antara lain adalah *excavator*, *bulldozer*, *vibrating roller*, *dump truck* *truck mixer*, dan lain-lain. Penggunaan alat berat terbesar biasanya adalah pada proses pekerjaan tanah dan lapis pondasi. Namun pada proses selanjutnya meskipun penggunaan alat berat tidak sebanyak pada tahapan pekerjaan tanah akan lebih didominasi penggunaan volume material yang lebih besar khususnya semen dan agregat.

Emisi Selama Proses Konstruksi

Isu tentang cadangan sumber daya tak terbarukan (minyak bumi, batu bara, gas bumi) dan bagaimana cara mereduksi pengaruhnya terhadap lingkungan menjadi agenda utama di berbagai negara, termasuk di sektor konstruksi. Kemudian telah disepakati bahwa yang menjadi ukuran besar kecilnya pengaruh suatu proses terhadap lingkungan ditakar dalam emisi CO₂e. Oleh karena itu nilai yang ingin dicapai dalam konstruksi hijau adalah meminimalkan emisi CO₂ ekivalen yang ditimbulkan oleh sumberdaya proyek (material, peralatan, metoda) selama proses konstruksi.

Pelaksanaan konstruksi merupakan sebuah proses yang sistematis, dimana terdapat input, proses, dan output. Elemen input yang berperan penting pada penciptaan nilai konstruksi hijau adalah material dan penggunaan alat. Material merupakan salah satu komponen bangunan yang berpotensi menimbulkan emisi CO₂e melalui kegiatan pengambilan material dari alam, proses pengolahan material produksi, distribusi produk dari sumber ke pemakai (Ervianto, 2012).

Besar kecilnya emisi CO₂e yang dihasilkan pada proses produksi dipengaruhi oleh berapa besar emisi CO₂ material tersebut, dan berapa besar volume material yang dibutuhkan. Besarnya emisi CO₂ pada proses produksi material dapat dihitung dengan menggunakan faktor konversi yang diperoleh dari berbagai literatur. Faktor konversi emisi CO₂ yang ditimbulkan selama proses produksi disajikan dalam Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Emisi CO₂ yang ditimbulkan oleh proses produksi material

No	Material	Faktor konversi	Sumber
1	Besi tulangan	2.4 ton CO ₂ /ton	Frick, 2007
2	Semen	1 ton CO ₂ /ton	Kubba, 2010
3	Agregat Kasar	1.067 kg CO ₂ /ton	Perhitungan sendiri
4	Agregat Halus	-	US. EPA
5	Aspal	11,91 kg CO ₂ /gal	Climate Registry Default Emission Factor, 2012
6	Fly Ash	-	US. EPA

Untuk kepentingan pelaksanaan pekerjaan dibutuhkan peralatan yang sesuai jenis dan kapasitasnya. Peralatan ini selalu membutuhkan energi (misal solar) untuk operasionalnya dan berpotensi menimbulkan emisi CO₂e. Faktor konversi dari bahan bakar minyak yang digunakan selama proses konstruksi dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Faktor emisi bahan bakar minyak
(United States Environmental Protection Agency, 2004)

Input Proses	lb CO ₂ /gal	kg CO ₂ /liter
Motor Gasoline	19.37	2.32
Diesel Fuel	22.23	2.66
LPG (HD-5)	12.6	1.52

Keterangan :

1 pound = 453.59 gram;

1 gal = 3.785 liter

METODE PENELITIAN

Penelitian ini termasuk metode penelitian menggunakan metode studi kasus. Metode studi kasus merupakan penelitian kualitatif, yang digunakan untuk mengkaji suatu fenomena (kasus) secara mendalam (Supriharyono, 2012). Di dalam penelitian ini dilakukan kuantifikasi emisi gas CO₂ ekivalen yang dihasilkan selama pelaksanaan konstruksi jalan raya perkerasan kaku meliputi material, peralatan konstruksi, metode pelaksanaan, dan faktor lain penyebab timbulnya emisi gas CO₂ ekivalen. Kemudian mengevaluasi bagaimana pelaksanaan konstruksi terbaik sehingga menghasilkan emisi gas CO₂ seminimal mungkin.

Objek pada penelitian ini adalah proyek jalan raya dengan perkerasan kaku yaitu pada Proyek *Flyover Palur* dengan bagian yang ditinjau adalah STA. 0+350 s/d STA. 0+450 dengan lebar 2 jalur kali 3 m. Lokasi proyek ini adalah Batas Kota Surakarta – Palur (Karanganyar). Kontraktor yang mengerjakan proyek ini adalah PT. Wijaya Karya.

Kemudian pada objek penelitian dilakukan pengumpulan data dengan metode observasi langsung dan wawancara sebagai data primer. Observasi langsung dilakukan dengan mengamati proses pekerjaan perkerasan kaku meliputi *levelling concrete*, penulangan dan proses pengecoran selama 7 hari setiap jam 9.00 s/d jam 16.00, khusus pada hari pengecoran dilakukan hingga jam 19.00. Data yang diperoleh dari observasi langsung berupa tahapan-tahapan pada proses perkerasan kaku, alat berat dan kapasitas masing-masing serta variabel apa saja yang menimbulkan emisi gas CO₂ pada proses tersebut. Sedangkan wawancara dilakukan dengan respondennya adalah seorang *project manager* dengan pengalaman 10 tahun dan *site engineer* dengan pengalaman 2 tahun. Hasil dari wawancara yang dilakukan yaitu mengenai jenis – jenis, jumlah dan konsumsi bahan bakar masing – masing alat berat dan material yang digunakan beserta asalnya. Sumber data untuk data sekunder diperoleh dari perusahaan dan instansi pemerintah. Data yang diperoleh dari data sekunder antara lain gambar kerja (*shop drawing*), volume material, asal material dan produktivitas alat berat.

HASIL DAN ANALISA

Penelitian ini yang ditinjau adalah Proyek Pembangunan *Fly Over* Palur STA. 0+350 s/d 0+450 dengan lebar 2 jalur kali 3 m. Data yang diperoleh antara lain adalah data material, transportasi material dan alat berat. Kemudian dari data yang diperoleh tersebut akan dilakukan analisa untuk memperoleh emisi gas CO₂ yang dihasilkan.

Data Input Material, Transportasi Material dan Operasional Alat Berat

Berikut ini akan ditampilkan data input berupa data material yang digunakan selama proses konstruksi. Data input material untuk perkerasan kaku dapat dilihat pada Tabel 3. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa untuk komponen *levelling concrete* volume material terbesar adalah agregat halus sedangkan untuk komponen perkerasan kaku volume terbesar adalah agregat kasar.

Tabel 3. Data *Input* Material Proyek *Flyover* Palur STA 0+350 s/d 0+450

No	Komponen	Material	Volume (ton)
1	<i>Levelling concrete</i> t = 10 cm	Agregat Halus	63.600
		Agregat Kasar	56.220
		Semen	8.940
		<i>Fly Ash</i>	1.020
2	Perkerasan kaku t = 30 cm	Agregat Kasar	169.020
		Agregat Halus	154.080
		Semen	71.100
		Tulangan	3.386

Sumber: Shop Drawing Proyek *Flyover* Palur; Data Beton PT.Varia Usaha Beton

Berikut ini dapat dilihat data transportasi material penyusun perkerasan. Pada data tersebut dapat diketahui asal material dan jaraknya dengan lokasi proyek. Data input transportasi material untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4. Pada tabel tersebut dapat diketahui bahwa volume material terbesar adalah agregat kasar dan volume terkecil adalah. Namun untuk asal material terjauh adalah tulangan yaitu berasal dari Jakarta.

Tabel 4. Transportasi Material Proyek *Flyover* Palur STA 0+350 s/d 0+450

No	Material	Vol. (ton)	Asal	Jarak (km)
1	Tulangan	3.386	Jakarta	485
2	Semen	80.040	Gresik	341
3	<i>Fly Ash</i>	1.020	Jepara	142
4	Agregat Halus	217.680	Merapi	41
5	Agregat Kasar	225.240	Tasikmadu	7

Sumber: PT. Varia Usaha Beton

Berikut ini akan ditampilkan data operasional alat berat selama pelaksanaan pekerjaan perkerasan kaku. Data alat berat yang diperoleh disusun berdasarkan komponen penyusun perkerasan kaku dan ditampilkan berdasarkan jumlah alat dan koefisien alat. Koefisien alat diperoleh berdasarkan produktivitas alat yaitu 1 dibagi dengan produktivitas sehingga diperoleh koefisien alat dengan satuan jam/ m³. Data input operasional alat berat perkerasan kaku untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5. Pada tabel tersebut dapat diketahui bahwa jenis alat berat yang jumlahnya paling banyak adalah *truck mixer*. Demikian pula alat berat dengan koefisien alat terbesar adalah *truck mixer* dan generator untuk mengoperasikan *concrete vibrator*.

Perhitungan Emisi CO₂e Selama Pelaksanaan Konstruksi Perkerasan Kaku

1. Proses Produksi

Perhitungan emisi CO₂e pada proses produksi didasarkan oleh volume material yang satuannya ton lalu dikalikan dengan angka konversi emisi produksi yang diperoleh dari berbagai literatur. Berikut ini akan disajikan hasil perhitungan emisi gas CO₂e pada proses produksi material perkerasan kaku pada Tabel 6. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa emisi terbesar dihasilkan pada proses produksi semen, hal ini disebabkan karena volume semen yang besar dan faktor konversi semen yang besar yaitu 1 ton CO₂/ ton.

Tabel 5. Data *Input* Alat Berat Proyek *Flyover* Palur STA 0+350 s/d 0+450

No	Komponen	Alat Berat	Jml. Alat	Koef. Alat (jam/m ³)
1	<i>Levelling Concrete</i> (t=10 cm)	<i>Batching Plant</i>	1	0.024
		Genset Nisaan	1	
		<i>Truck Mixer</i>	3	0.061
		<i>Concrete Vibrator</i>	1	0.061
		Generator	1	
2	Perkerasan kaku (t= 30 cm)	<i>Batching Plant</i>	1	0.024
		Genset Nissan	1	0.061
		<i>Truck Mixer</i>	3	
		<i>Concrete Vibrator</i>	1	0.061
		Generator	1	
		<i>Concrete Cutter</i>	1	0.011
		Generator	1	

Studi: Survei dan literatur

Tabel 6. Emisi CO₂e Berdasarkan Proses Produksi Material Perkerasan Kaku Proyek *Flyover* Palur STA 0+350 s/d 0+450

No	Komp.	Mat.	Vol. (ton)	Faktor (ton CO ₂ / ton)	Emisi CO2e (ton)
1	<i>Levelling concrete</i>	Semen	8.94	1	8.940
		<i>Fly Ash</i>	1.02	0	0.000
		Ag. Kasar	56.22	0	0.000
		Ag. Halus	63.60	0	0.000
2	Perkerasan kaku	Semen	71.10	1	71.100
		Ag. Kasar	169.02	0	0.000
		Ag. Halus	154.08	0	0.000
		Tulangan	3.39	2.4	8.126
Total					88.166

Sumber: Perhitungan sendiri

2. Transportasi Material

Perhitungan emisi yang dihasilkan pada transportasi material perkerasan kaku didasarkan pada konsumsi bahan bakar yang dikalikan dengan angka konversi emisi bahan bakar yang didapat dari berbagai literatur. Dalam perhitungan ini diasumsikan bahwa kendaraan yang digunakan merupakan kendaraan baru sehingga konsumsi BBM tiap kendaraan adalah sama yaitu 3.5 km/ltr, serta diasumsikan bahwa kecepatan kendaraan bermuatan sama dengan kecepatan kendaraan dalam keadaan muatan kosong. Berikut ini hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 7. Pada tabel tersebut dapat diketahui bahwa emisi terbesar pada transportasi material adalah pada material semen. Hal tersebut disebabkan oleh volume semen yang cukup besar, namun pengaruh yang lebih signifikan adalah jarak material yang sangat jauh yaitu 485 km.

Tabel 7. Emisi CO₂e Berdasarkan Transportasi Material Perkerasan kaku Proyek *Flyover* Palur STA 0+350 s/d 0+450

No	Material	Total Jarak (km)	Total Kons. BBM (ltr)	Emisi CO ₂ e (ton) (Diesel Fuel = 2.66 kgCO ₂ /ltr)
1	Semen	1364	389.714	1.037
2	<i>Fly Ash</i>	284	81.143	0.216
3	Ag. Kasar	238	68.000	0.181
4	Ag. Halus	1312	374.857	0.997
5	Tulangan	970	277.143	0.737
Total				3.168

Sumber: Perhitungan sendiri

3. Alat Berat

Perhitungan Emisi CO₂e akibat alat berat ini diperoleh berdasarkan banyaknya konsumsi bahan bakar selama waktu operasional per jam dikalikan dengan faktor konversi bahan bakar *diesel fuel* yaitu 2,66 kg CO₂/ ltr. Besarnya emisi CO₂e selama pelaksanaan konstruksi perkerasan kaku di lapangan untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 8 berikut ini. Pada tabel tersebut diketahui bahwa emisi terbesar selama operasional alat berat dihasilkan oleh *truck mixer*. Hal ini dikarenakan kebutuhan beton yang sangat besar sehingga waktu operasional truk akan besar pula dan ini mempengaruhi besarnya jumlah bahan bakar yang digunakan. Sehingga emisi CO₂ pada operasional *truck mixer* menjadi sangat besar yaitu 0,202 ton pada komponen *levelling concrete* dan 0,607 ton pada komponen perkerasan kaku.

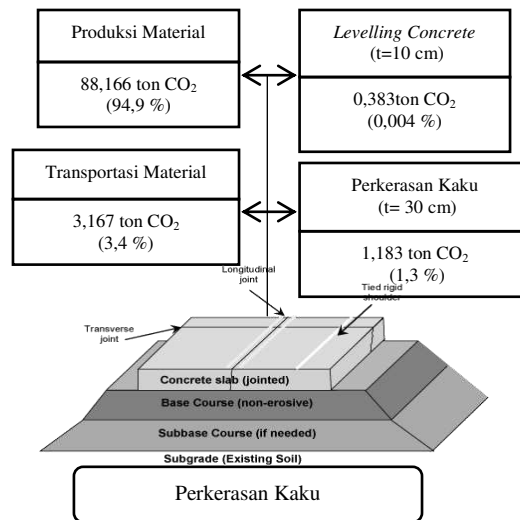
Tabel 8. Emisi CO₂e Berdasarkan Alat Berat Perkerasan Kaku Proyek *Flyover* Palur STA. 0+350 s/d 0+450

No	Komp.	Alat Berat	Emisi CO ₂ (ton) (Diesel Fuel = 2,66 kgCO ₂ /ltr)
1	<i>Levelling Concrete</i>	<i>Batching Plant</i>	0.120
		Genset Nissan	
		<i>Truck Mixer</i>	0.202
		<i>Concrete Vibrator</i> Generator	0.061
2	Perkerasan kaku	<i>Batching Plant</i>	0.359
		Genset Nissan	
		<i>Truck Mixer</i>	0.607
		<i>Concrete Vibrator</i> Generator	0.184
		<i>Concrete Cutter</i> Generator	0.034
		Total	1.567

Sumber: Perhitungan sendiri

Emisi Selama Pelaksanaan Konstruksi

Emisi CO₂ yang dihasilkan selama proses konstruksi pada tiap lapisan penyusun perkerasan kaku pada Proyek *Flyover* Palur STA. 0+350 s/d 0+450 dengan jalur yang ditinjau 2 jalur kali 3 meter disajikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Carbon footprint Proses Konstruksi Perkerasan Kaku

Emisi terbesar dihasilkan selama proses produksi material yaitu 88.166 ton (94.9%) terutama pada produksi semen sebesar 80.04 ton. Hal ini diakibatkan produksi semen memerlukan proses yang panjang dari tahap penambangan dan produksi manufaktur yang memerlukan energi yang amat besar hingga dihasilkan semen.

Implikasi Hasil Estimasi CO₂

Pada proses konstruksi perkerasan kaku, emisi CO₂e terbesar dihasilkan selama proses produksi material yaitu sebesar 88.166 ton CO₂ (94.9%). Proses produksi semen dan besi tulangan menghasilkan emisi CO₂e yang amat tinggi untuk itu diperlukan upaya untuk diciptakan teknologi baru yang menghasilkan material alternatif yang memiliki sifat seperti semen namun memiliki durabilitas dan *sustainable* sehingga emisi CO₂e yang dihasilkan dapat ditekan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada proyek jalan raya perkerasan kaku selama proses konstruksi dapat disimpulkan bahwa:

1. Emisi CO₂ yang dihasilkan selama proses konstruksi meliputi proses produksi material, transportasi material, dan pelaksanaannya pada Proyek Perkerasan Kaku *Flyover* Palur STA. 0+350 s/d 0+450 yaitu sebesar 92.9 ton CO₂e.
2. Pada proses konstruksi Perkerasan Kaku dengan lebar 2 jalur kali 3 meter dengan sampel luasan 600m², emisi CO₂e yang dihasilkan oleh produksi material 88.166 tonCO₂e (94.9%), transportasi material 3.168 tonCO₂e (3.4%), produksi dan penghamparan beton 1.567 tonCO₂e (1.7%).

3. Emisi CO₂e terbesar selama proses produksi yaitu pada proses produksi semen sebesar 80.04 ton dan besi tulangan sebesar 8.126 ton.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, saran yang dapat diberikan penulis:

1. Pada proses konstruksi perkerasan kaku dimana emisi CO₂ secara dominan dihasilkan oleh produksi material khususnya semen, dan besi tulangan maka diperlukan penciptaan teknologi baru yang menghasilkan material alternatif yang memiliki sifat seperti semen namun memiliki durabilitas dan *sustainable* sehingga emisi CO₂e yang dihasilkan dapat ditekan.
2. Pada penelitian ini variabel yang ditinjau pada lapis *leveling concrete*, dan lapis permukaan. Terdapat beberapa variabel yang belum ditinjau terutama pada pekerjaan tanah. Pada penelitian selanjutnya disarankan melakukan penelitian perhitungan emisi CO₂ lebih mendalam lagi baik dari proses desain, konstruksi, operasional bangunan, dan perawatannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ervianto, Wulfram I., 2010. *Pengelolaan Proyek dalam Konstruksi Berkelanjutan*
- Ervianto, Wulfram I., 2011. Carbon Tracing Komponen Struktur Bangunan Gedung (Studi Kasus Gedung ISIPOL UAJY). *Prosiding Seminar Nasional-1 BMPTTSSI-KoNTeKS 5 Universitas Sumatera Utara, Medan, Oktober 2014*
- Ervianto, Wulfram I. Soemardi, W. Abduh, M. & Suryamanto, 2011. *Identifikasi Indikator Green Construction pada Proyek Konstruksi Bangunan Gedung di Indonesia*
- Ervianto, Wulfram I., 2012. *Selamatkan Bumi Melalui Konstruksi Hijau*. Yogyakarta: Andi
- Lawalata, Greece M., 2010. *Prinsip Pembangunan Jalan Berkelanjutan*
- Robichaud, Lauren B. & Anantatmula, Vittal S., 2011. *Greening Project Management Practices for Sustainable Construction*. Journal of Management in Engineering ASCE Volume 27, Issue 1
- University of Washington, 2013; “*Green Roads Manual V 1.0*”